



RELACIÓN ENTRE LA COMPETENCIA DE PENSAMIENTO ANALÓGICO Y LA COMPETENCIA DE MODELIZACIÓN EN TORNO AL CAMBIO QUÍMICO

RELATIONSHIP BETWEEN ANALOGICAL THINKING COMPETENCE AND COMPETENCE IN MODELING ABOUT CHEMICAL CHANGE

RELAÇÃO ENTRE COMPETÊNCIA DE PENSAMENTO ANALÓGICO E COMPETÊNCIA DE MODELAGEM SOBRE PROCESSOS QUÍMICOS

María del Mar Aragón-Méndez^{*ID}, José María Oliva^{**ID}

Cómo citar este artículo: Aragón-Méndez, M.M. y Oliva, J.M. (2020). Relación entre la competencia de pensamiento analógico y la competencia de modelización en torno al cambio químico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(1), 83-100. DOI: <http://doi.org/10.14483/23464712.14441>

Resumen

Presentamos el estudio de la correlación existente entre pensamiento analógico y competencia de modelización, a través de distintas dimensiones relacionadas con la componente representacional y metarrepresentacional de tales variables. El escenario de investigación lo constituye la implementación de una propuesta didáctica sobre el cambio químico dirigida a estudiantes de tercer curso de educación secundaria, utilizando analogías como herramienta recurrente para favorecer la modelización. La metodología de investigación incluyó instrumentos de toma de datos, como portfolio, entrevistas, diario del profesor y una combinación de procedimientos cualitativos y cuantitativos de análisis de datos. Como resultado, constatamos niveles de desempeño bastante adecuados en la mayoría de dimensiones correspondientes al pensamiento analógico y la modelización, así como un grado significativo de asociación entre ambas facetas en las dimensiones referentes al ámbito representacional y metacognitivo, aunque no en las relacionadas con los conocimientos epistémicos. Estos resultados se interpretan a la luz del marco teórico planteado y se plantean implicaciones para la enseñanza y para acciones futuras de investigación.

Palabras clave: competencia, modelos, modelaje, química.

Recibido: 12 de febrero de 2019; aprobado: 13 de mayo de 2019

* Doctora en Ciencias de la Educación. Docente del Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz, España. Correo electrónico: mariadelmar.aragon@uca.es

** Doctor en Ciencias. Docente del Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz, España. Correo electrónico: josemaria.oliva@uca.es

Abstract

We present a study about the correlation between analogue thinking and modelling competence, through different dimensions related to the representational and meta-representational component of such variables. A didactic proposal was implemented in the third year of secondary school, based on the concept of “chemical change,” which uses analogies as a common tool to stimulate students to make models. The research methodology included data collection instruments such as portfolios, interviews, a teacher’s diary, and a combination of qualitative and quantitative data analysis procedures. We found adequate levels of performance in most dimensions corresponding to analogical thinking and modelling, as well as a significant degree of association between both facets in the dimensions related to the representational and metacognitive fields, although not in those related to epistemic knowledge. These results are interpreted in light of the proposed theoretical framework, and implications for teaching and future research actions are raised.

Keywords: Competition, Models, Modelling, Chemistry.

Resumo

Neste artigo, a correlação entre o pensamento analógico e a competência de modelagem foi estudada através de diferentes dimensões, relacionadas ao componente representacional e meta-representacional de tais variáveis. O cenário da pesquisa foi a implementação de uma proposta didática sobre os processos químicos, utilizando as analogias como suporte repetido e contínuo para modelagem. Os participantes do estudo eram alunos do 3º ano do ensino secundário obrigatório. A metodologia de pesquisa incluiu o uso de ferramentas de coleta de dados, tais como portfólio, entrevistas, diário do professor, e uma combinação de procedimentos qualitativos e quantitativos de análise de dados. Como resultado, verifica-se níveis de desempenho bastante adequados na maioria das dimensões correspondentes ao pensamento analógico e modelagem. Também um grau significativo de associação entre ambas as facetas nas dimensões referidas ao campo representacional e metacognitivo, embora não naqueles relacionados ao conhecimento epistêmico. Os resultados foram interpretados a partir do referencial teórico e foram consideradas implicações para o ensino e para futuras ações de pesquisa.

Palavras-chave: competência, modelos, modelagem, química.

Introducción

El cambio químico constituye uno de los núcleos de la enseñanza de la química en la educación secundaria, ya que ocupa un papel central dentro del currículum y es básico para entender situaciones y fenómenos de la vida cotidiana. Por este motivo, y dadas las dificultades de comprensión que encierra dicho tópico, se puede entender que la construcción del modelo daltoniano del cambio químico haya sido un problema recurrente en torno al que se ha debatido e investigado abundantemente desde la didáctica de las ciencias (JOHNSTONE, 1982; JENSEN, 1998; RAVIOLO, GARRITZ, SOSA, 2011; MERINO, IZQUIERDO, 2011).

En este contexto, hemos de considerar el papel de las analogías como recurso didáctico de interés para el aprendizaje de estos temas, ya que ellas permiten a los estudiantes comprender ideas abstractas y poco conocidas, a través de otras que son más cercanas y familiares. En el caso concreto de la química, facilitan conectar el conocimiento intuitivo previo del estudiante con representaciones submicroscópicas, que son siempre más complejas y abstractas (ARAGÓN, OLIVA, NAVARRETE, 2013).

Sin embargo, aunque existe un cierto consenso en admitir su utilidad en el aprendizaje de modelos científicos escolares, cuando se eligen analogías apropiadas y se implementan a través de estrategias adecuadas (DUIT, 1991; DAGHER, 1995), su función en el desarrollo de destrezas de pensamiento científico ha sido mucho menos defendido. Ello a pesar de que analogías y modelos podrían compartir mecanismos de funcionamiento muy similares, por lo que un buen desarrollo de destrezas de pensamiento analógico podría repercutir positivamente en la competencia de modelización del alumnado.

En este estudio se intenta aportar datos empíricos en esta dirección, mediante el análisis de la relación entre destrezas de pensamiento analógico en el alumnado y las distintas dimensiones de la competencia de modelización en el ámbito del cambio químico.

1. Marco teórico

Los modelos cumplen un papel esencial tanto en la ciencia como en la enseñanza de la ciencia (HALLOUN, 1996; GILBERT, BOULTER, RUTHERFORD, 1998; NERSESSIAN, 1999; JUSTI 2006). De ahí que no deba de extrañar que, entre las líneas de investigación actuales que focalizan su atención en la competencia científica, la modelización ocupe un lugar relevante (HALLOUN, 1996; JUSTI, GILBERT, 2002; SCHWARZ *et al.*, 2009).

En el ámbito escolar, la modelización la entendemos como aquel proceso en el que los alumnos elaboran modelos, trabajan con ellos, los revisan, o han de hablar y opinar acerca ellos, entendiendo su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante y, también, sus limitaciones (ARAGÓN, OLIVA, NAVARRETE, 2013). No se trataría solo de aprender los modelos del currículum escolar, sino al mismo tiempo desarrollar las destrezas que conlleva su construcción, uso y revisión (JUSTI, GILBERT, 2002), junto a las destrezas metacognitivas y conocimientos epistémicos implicados en el manejo de estos (SCHWARZ, 2002; KOZMA, RUSSELL, 2005; DISESSA, 2004; NICOLAOU, CONSTANTINOU, 2014). Todo lo cual viene acuñándose bajo el término de *competencia de modelización* (LOPES, COSTA, 2007; NICOLAOU, CONSTANTINOU, 2014; PAPAVERIPIDOU, NICOLAOU, CONSTANTINOU, 2014; OLIVA, ARAGÓN, CUESTA, 2015), como parte integrante de la competencia científica.

Más concretamente, diferentes autores han propuesto dos grandes componentes de la actividad de modelización, una de carácter representacional, relacionada con prácticas de modelización propiamente dichas (construir modelos, usarlos, revisarlos, compararlos, valorarlos), y otra de tipo metarrepresentacional o de metamodelización, asociadas a la reflexión metacognitiva acerca del perfil y alcance de los modelos que se poseen, y con las visiones epistemológicas acerca de la naturaleza de los modelos (KOZMA, RUSSELL, 1997; DISESSA, 2004; NICOLAOU, CONSTANTINOU, 2014).

Según esto, la modelización constituye un fenómeno complejo, de modo que la enseñanza de las ciencias debería enfocarse en promover en los alumnos las destrezas y conocimientos epistémicos necesarios para este tipo de tareas (VAN DRIEL, VERLOOP, 1999; HARRISON, TREAGUST, 2000a; JUSTI, GILBERT, 2002; IZQUIERDO, ADÚRIZ-BRAVO, 2005; HALLOUN, 2007; PRINS *et al.*, 2009; CHAMIZO, 2010; CAMACHO *et al.*, 2012). De hecho, parece existir un consenso en torno a que esta actividad es susceptible de ser abordada y desarrollada en el proceso de enseñanza (SCHWARZ, 2002; SCHWARZ, WHITE, 2005; HALLOUN, 2007; PRINS *et al.*, 2009; CARDOSO MENDONÇA, JUSTI, 2011; MADDEN, JONES, RAHM, 2011; BAMBERGER, DAVIS, 2013).

Según JUSTI, GILBERT (2002), la modelización y su aprendizaje pueden abordarse desde diferentes niveles de complejidad, cuya diferenciación es importante a la hora de tomar decisiones respecto al diseño didáctico. En concreto, dichos autores sugieren la existencia de, al menos, cinco niveles distintos:

- Aprendizaje de modelos ya propuestos, entendido como la adquisición de la capacidad de expresar las ideas y relaciones que constituyen los modelos explicativos de un fenómeno.
- Aplicación de los modelos para representar e interpretar la realidad, así como usar modelos en situaciones de indagación. Si se usan varios modelos interpretativos, los alumnos deberán valorar cuál es el más apropiado para cada caso, en función de las circunstancias. Además, deberían ser conscientes de la importancia de estos como instrumentos para interpretar la realidad e interactuar con ella.
- Revisión de modelos propuestos, que supone su propia validación y, de ser necesario, la modificación de los planteamientos iniciales y la delimitación del rango de validez o ámbito de aplicación de los modelos. Esto implica al propio tiempo reconocer el carácter aproximativo y provisional de los modelos.

- Reconstrucción de modelos, tarea que precisa la implicación del alumno dándole la oportunidad de aportar ideas, de sugerir hipótesis, que complementen las inicialmente propuestas o sugeridas por el profesor, delimitar la realidad que se pretende modelizar y ser consciente del proceso que está iniciando.
- Elaboración autónoma de modelos, herramienta fundamental para la construcción del conocimiento como muestra la historia de las ciencias. Sería un objetivo de aprendizaje apropiado para niveles superiores, sobre todo universitario.

Así, pues, implicar a los alumnos en la modelización requiere proporcionar herramientas que faciliten el desarrollo de las capacidades asociadas, dotarles de útiles de razonamiento, como la capacidad de abstracción, que favorezcan el uso y aplicación de modelos, así como el proceso imaginativo y creativo que implica la construcción o reconstrucción de modelos. De ahí que se comprenda el interés de estos enfoques y el importante espacio que han cobrado actualmente en la investigación sobre enseñanza de las ciencias, como está ocurriendo por ejemplo en el ámbito iberoamericano (PEREIRA, RODRIGUES, 2017; PÉREZ, GÓMEZ, GONZÁLEZ, 2018; LÓPEZ SIMÓ, GRIMALT-ÁLVARO, COUSO LAGARÓN, 2018).

Desde esta perspectiva, las analogías se muestran como instrumentos que pueden aportar múltiples beneficios, dado su potencial para acercar los conceptos científicos a un plano más familiar al alumno y desarrollar estrategias, destrezas y visiones epistemológicas de interés para la modelización (GILBERT, 1993; HARRISON, TREAGUST, 2000b; GALAGOVSKY, ADÚRIZ-BRAVO, 2001; OLIVA, ARAGÓN, 2009). Construir analogías supone, en cierto modo, construir modelos, aunque en un dominio familiar y cercano al alumno (DUIT, 1991). Por poner un ejemplo reciente de estudio que incide en esta dirección, podemos citar uno realizado en el contexto español, en el que se pudo constatar que tanto profesores como estudiantes de secundaria valoraban positivamente las analogías

empleadas en la clase de ciencias. En particular, los alumnos percibían que las analogías eran recursos útiles que les ayudaban no solo en la comprensión del modelo cinético molecular, sino también a explicar las propiedades y cambios de los estados de agregación de la materia (RUBIO, SÁNCHEZ, VALCÁRCEL, 2018).

La actividad analógica puede considerarse de forma paralela a la modelización, desarrollándose según diferentes niveles de complejidad. Estos niveles irían desde el aprendizaje de analogías ya construidas, pasando por su aplicación, validación y reconstrucción, hasta la elaboración autónoma de analogías. La gradación implícita en el razonamiento analógico podría facilitar, por tanto, la modelización en cada uno de los niveles descritos (OLIVA, ARAGÓN, 2009):

- Usar analogías para facilitar la construcción del discurso verbal en el dominio del modelo: comprensión de los conceptos implicados, establecimiento de relaciones entre ellos, manejo de distintos tipos de lenguaje para comunicar ideas, etc. (HARRISON, TREAGUST, 2000b; ARAGÓN, OLIVA, NAVARRETE, 2013).
- Emplear las analogías para favorecer la aplicación de modelos en diferentes situaciones, la resolución de problemas y la realización de predicciones en el dominio del objeto. Las conclusiones alcanzadas a través de las analogías pueden ser comprobadas mediante diseños experimentales o mediante experimentos mentales (JUSTI, 2006; JUSTI, GILBERT, 2002, 2006).
- Uso crítico de las analogías como medio de revisión y cambio de los modelos. Así mismo, el hecho de poner en tela de juicio la validez de las propias conclusiones, buscando las limitaciones de estas, puede permitir la adquisición de visiones más ajustadas sobre cómo funciona la ciencia (OLIVA, 2004; JUSTI, GILBERT, 2006; JUSTI, 2006).
- Participación en la elaboración de las analogías sugeridas por el profesor, así como en la

formulación de hipótesis sobre las relaciones existentes entre los elementos que conforman el análogo. Ello abre la puerta a nuevas formas de ver y relacionar los elementos del modelo objeto, contribuyendo así a una reconstrucción del modelo inicial del que se disponía.

- Elaborar analogías propias autogeneradas, lo que contribuye al proceso de generación de modelos. La historia de la ciencia nos muestra múltiples casos en los que los científicos usan analogías en este sentido justamente en los momentos más creativos (NERSESSIAN, 1992). Por tanto, fomentar que los alumnos conciban sus propias analogías contribuiría al desarrollo de habilidades como la creatividad y el pensamiento hipotético-deductivo que se encuentran en la base del trabajo científico.

Pero la relación entre razonamiento analógico y de modelización es compleja y bidireccional, de modo que también es cierto que el aprendizaje de modelos y el desarrollo de las competencias necesarias para ello podrían influir favorablemente en el sentido de que los alumnos otorgan a las analogías manejadas y en el trabajo con estas.

El asunto que nos preocupa en este estudio es analizar la relación entre ambos aspectos, cuando las analogías se emplean como herramienta recurrente en un marco participativo y colaborativo en el aula. Concretamente, la investigación se centra en la implementación de una secuencia diseñada para la modelización del cambio químico en la que las analogías constituyen el recurso central. Con esta perspectiva se pretende analizar la conexión entre las capacidades inherentes al pensamiento mediante analogías y la competencia de modelización.

2. Contexto didáctico y cuestiones de investigación

El enfoque didáctico adoptado en la secuencia se sitúa en el marco socioconstructivista, con una fuerte implicación de los alumnos en los procesos de

modelización. La dimensión social del aprendizaje se articuló a través del trabajo colectivo en pequeño y gran grupo, favoreciendo la discusión de los modelos explicativos que se iban generando a partir de los modelos de partida.

Respecto al cambio químico, con la propuesta didáctica se pretendía que los alumnos desarrollasen:

- Un modelo macroscópico de cambio químico, implicando los conceptos de *cambio físico y químico, sustancia, sustancia elemental y compuesta*, y la *ley de conservación de la masa*.
- Modelos submicroscópicos interpretativos del cambio químico, en concreto el modelo atómico y el modelo de colisiones.
- Modelos icónicos de representación del cambio químico. Estos fueron de dos tipos: uno consistente en diagramas de partículas, y otro constituido por símbolos químicos, fórmulas y ecuaciones.

La secuencia, basada en el ciclo de modelización propuesto por JUSTI, GILBERT (2002) y JUSTI (2006) pretende que los alumnos se impliquen en la reconstrucción de modelos, lo que entraña el planteamiento de los modelos iniciales, su revisión y validación mediante su aplicación a diversas situaciones y la formulación de los modelos que definitivamente se acepten. Entendemos que, de esta forma, los estudiantes son puestos en situación de construir *modelos*, trabajar con ellos, y aprender *acerca* de su naturaleza. Así mismo, el propósito era involucrar a los alumnos en la reconstrucción de múltiples modelos sobre el cambio químico.

Como herramienta facilitadora de estos aprendizajes se emplearon actividades analógicas, siendo estas un recurso recurrente durante toda la unidad. En algunos casos (frutas y fruteros, discos de colores, etc.), los análogos empleados promovían simplemente una visión discontinua de los sistemas manejados, evocando un modelo análogo a la versión del modelo atómico-molecular

de Dalton que suele presentarse en los libros de texto a estas edades. En otros casos, se intentaba representar las uniones entre átomos y la ruptura y formación de uniones, de modo análogo a lo que sucede en un cambio químico (piezas de Lego, bolas de plastilina con imanes). Finalmente, alguno de los sistemas considerados evocaba, además, la idea de movimiento de las moléculas, introduciendo el factor agitación de las unidades manejadas (bolas de plastilina con imanes en una caja, alumnos moviéndose en la clase, etc.).

Respecto al pensamiento analógico, se pretendía que los alumnos tuvieran la ocasión de participar en la construcción de analogías, aprendieran a revisarlas y a aplicarlas, además de saber expresar las relaciones analógicas que constituyen las analogías. En este sentido, las analogías manejadas no solo fueron un recurso para facilitar la comprensión sobre los distintos modelos de cambio químico (macroscópico, submicroscópico, simbólico), sino que además pretendieron ser una herramienta para el desarrollo de capacidades y valores relacionados con la modelización.

La secuencia didáctica diseñada con estos fines se describe en la tabla 1. Aunque se presenta de forma lineal, se concibió bajo la estructura de una trama cíclica, de modo que los modelos finalmente formulados pueden ser el resultado de diversas revisiones. En la primera columna, se presentan las fases que conforma la secuencia; en la segunda, se describe brevemente el tipo de actividades de modelización y analógicas que se diseñaron para la unidad didáctica, y en la tercera, se detalla cada una de las actividades. Conviene indicar que se emplearon diversas analogías, no solo como oportunidad de abordar distintas facetas del cambio químico, sino también como ocasión para analizar una misma faceta desde distintos puntos de vista. Una descripción más pormenorizada acerca de las analogías empleadas y su función puede consultarse en trabajos anteriores (OLIVA, ARAGÓN, 2009; ARAGÓN, OLIVA, NAVARRETE, 2013; OLIVA, ARAGÓN, CUESTA, 2015).

Tabla 1. Secuencia didáctica para la modelización con apoyo de analogías.

Fases	Procesos analógicos y de modelización I	Actividades
I. Fase inicial. Centrar el tema. Construcción de primeros modelos mentales	<ul style="list-style-type: none"> Presentación de situaciones y experiencias que generen interés y la formulación de preguntas. Completar análogos y facilitar la construcción de modelos mentales. Delimitación y caracterización de la realidad que se va a modelizar. 	<p>Actividad inicial. Modelos iniciales sobre el cambio químico</p> <p>A1. Análisis de cambios ya conocidos (electrolisis del agua, fusión del estaño, oxidación del hierro, combustión del butano), a escala macroscópica, diferenciando entre cambios físicos y químicos.</p> <p>A.2 Actividad analógica: la caracterización de las sustancias. Formulación de un modelo macroscópico sobre el cambio químico.</p> <p>A.3 Actividad práctica: aplicación del modelo macroscópico de cambio químico (descomposición de la malaquita, reacción de la malaquita con el ácido clorhídrico).</p> <p>A.4 Generar analogías propias sobre sistemas formados por unidades que pueden unirse de distinta forma. Construcción de un modelo mental sobre el cambio químico a escala submicroscópica.</p> <p>A5 Actividad analógica: completar la analogía sugerida (analogía del Lego) para generar un modelo atómico.</p> <p>A.16. Actividad analógica; completar la analogía sugerida (analogía de bolas de plastilina con y sin imanes en el interior) para elaborar el modelo de colisiones.</p>
II. Representación/ reconstrucción de modelos	<ul style="list-style-type: none"> Establecimiento de los principios de los modelos submicroscópicos interpretativos del cambio químico. (Re)construcción de modelos icónicos a través de sistemas análogos de representación. Interpretación de sistemas materiales y cambios, lo que implica expresar los modelos usando los sistemas de representación establecidos. 	<p>A.6 Establecimiento de un modelo atómico y representación simbólica de los elementos.</p> <p>A.7 Aplicación de la analogía del lego para justificar el comportamiento de sustancias elementales y compuestas.</p> <p>A.8 Completar un análogo sugerido (fruteros y frutas) para establecer modelos icónicos de representación.</p> <p>A.9 Reconstrucción de modelos icónicos para representar moléculas y sustancias moleculares.</p> <p>A.10 Completar los análogos sugeridos (fruteros y expositores) para establecer modelos icónicos de representación.</p> <p>A.11 Reconstrucción de modelos icónicos para representar moléculas y sustancias cristalinas.</p> <p>A.12 Actividad analógica: simulación con alumnos como análogos de los átomos, para diferenciar sustancia molecular de cristalina.</p> <p>A.13 Actividad experimental. Realizar predicciones e interpretar de la oxidación del hierro mediante diferentes modelos</p> <p>A.14 Actividad analógica. Completar los análogos sugeridos (Lego) para establecer modelos icónicos de representación de los cambios químicos, la ecuación química.</p> <p>A.15 Aplicación de modelos icónicos para representar cambios químicos.</p> <p>A.17 Interpretación de cambios físicos y químicos (electrolisis y ebullición del agua, combustión del carbón, fotosíntesis) aplicando múltiples modelos.</p>
III. Comprobación de los modelos	<ul style="list-style-type: none"> Uso los modelos en situaciones de interpretación e indagación. Empleo de analogías en situaciones de indagación. 	<p>A.18 Actividad experimental de estudio de cambios químicos (precipitación del cloruro de plata y obtención de hidrógeno a partir de cinc y ácido clorhídrico) e interpretación usando múltiples modelos para ponerlos a prueba.</p> <p>A.19 Actividad analógica, uso de la analogía del Lego y modelo atómico en situación de indagación. Predicción sobre la evolución de la masa de los sistemas en el transcurso de un cambio químico.</p> <p>A.20 Actividad de reflexión sobre el enunciado de la conservación de la masa desde el punto de vista histórico.</p> <p>A.21 Actividad experimental. Diseño y realización de experiencias para verificar la ley de conservación de la masa.</p> <p>A.23 Actividad experimental. Uso del modelo de colisiones, con apoyo de analogías, en situación de indagación. Predicción sobre la modificación de la velocidad de reacción con la temperatura.</p>
IV. Establecimiento de límites y reformulación de los modelos	<ul style="list-style-type: none"> Establecimiento de límites de validez. Expresión de los modelos consensuados. 	<p>A.17 Establecimiento de límites de validez de los modelos.</p> <p>A.22 Aplicación de los modelos en diferentes situaciones, dentro y fuera de su rango de validez.</p> <p>A.24 Establecimiento de límites de validez de los modelos.</p> <p>Actividades finales. Modelos finales sobre el cambio químico, pensamiento analógico y concepto de <i>modelo</i>.</p>

Fuente: los autores.

La implementación la llevó a cabo, como profesora, la primera autora del artículo, quien adoptó el papel de observadora participante. La propuesta tuvo una duración de 16 sesiones de una hora de duración cada una.

El problema central abordado en esta investigación consiste en el análisis de la contribución del pensamiento analógico en el desarrollo de la competencia de modelización. Para ello se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué niveles de desempeño muestran los estudiantes en la realización de las actividades planteadas en la unidad didáctica, tanto desde el punto de vista del pensamiento analógico como de la competencia de modelización?
- ¿Qué grado de relación existe entre el desempeño de los estudiantes en tareas de pensamiento analógico y de modelización?

Para ello se analizan los niveles de desempeño alcanzados por el alumnado en las distintas dimensiones consideradas, al objeto de constatar cómo la propuesta didáctica diseñada sirvió como escenario propicio para movilizar capacidades y conocimientos epistémicos propios del pensamiento analógico y de la competencia de modelización. En segundo lugar, y realizando un estudio comparativo entre dimensiones correspondientes a ambas vertientes, se pretendía comparar el desempeño en uno y otro caso, y analizar la correlación entre ambas.

3. Diseño metodológico

a. Participantes

Con la finalidad de mostrar la contribución del razonamiento analógico al aprendizaje de la modelización, se ha diseñado e implementado la secuencia didáctica comentada, dirigida al nivel de tercer curso de educación secundaria obligatoria. Los participantes en el estudio conformaban dos clases-grupos de 3º de Educación Secundaria

Obligatoria que cursaban la asignatura de Física y Química, con cuatro horas de clase por semana durante un cuatrimestre. Pertenecían a Instituto Público de Cádiz, y procedían de un perfil familiar de nivel socioeconómico medio. La muestra incluyó a 35 estudiantes (14 alumnas, 11 alumnos) de 14 o 15 años. Los estudiantes fueron informados de su participación en el estudio y del uso de sus producciones como instrumentos para la investigación, y mostraron estar de acuerdo.

b. Instrumentos de recolección de información

La fuente principal de la que se adquirieron los datos fue el portafolio individual del alumno, que incluía las producciones de cada estudiante: pruebas iniciales y finales, actividades de clase, individuales y grupales, y los exámenes. Esto se complementó con información parcial obtenida a través de otros métodos de recolección de datos:

- Entrevistas semiestructuradas individuales: llevadas a cabo con casi todos los estudiantes, cuyos resultados se emplearon solo en ocasiones especiales para ampliar o aclarar la información procedente del portafolios cuando esta parecía insuficiente o confusa. Las entrevistas fueron grabadas en audio y posteriormente transcritas.
- Diario del profesor/observador: utilizado para dejar constancia de tres aspectos diferentes: a) registrar cómo progresaba cada sesión, especialmente las discusiones que tuvieron lugar durante estas; b) reflexionar sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje que se estaban produciendo; y c) realizar propuestas de mejora con perspectivas al futuro. Solo los dos primeros de estos aspectos se analizaron para los fines del presente estudio.
- Algunas grabaciones de audio tomadas durante los debates en clase: los estudiantes tenían una grabadora de audio en sus mesas de trabajo que ellos mismos activaban al iniciar su trabajo en grupo y desconectaban después.

c. Procedimiento de análisis de la información

El diseño de investigación fue de tipo interpretativo, combinando análisis de tipo cualitativo y cuantitativo. De hecho, la información manejada inicialmente consistió en las explicaciones y argumentos empleados por los estudiantes, en unas ocasiones en forma de dibujos y, en la mayoría de casos, de forma textual. No obstante, una vez categorizada la información recopilada, se calcularon las distribuciones de frecuencia encontradas para las distintas categorías, y se llevaron a cabo estudios de asociación entre las distribuciones encontradas. Así, fue posible aprovechar las ventajas de ambos tipos de enfoques de investigación, en el primer caso mediante un análisis de contenido de las producciones de los estudiantes, y en el segundo, a través de pruebas de inferencia que permitirían dar respuesta al problema formulado.

La información cualitativa obtenida para cada estudiante a partir de los distintos instrumentos se estructuró en forma de *dossier*, el cual se usó como base para un análisis de contenido. Para dicho análisis se empleó como criterio un conjunto de 12 dimensiones destinadas a evaluar la competencia de modelización, propuestas en un estudio anterior (OLIVA, ARAGÓN, CUESTA, 2015), estableciéndose para cada una de ellas su homóloga en el ámbito del pensamiento analógico (tabla 2), según el paralelismo que preveíamos y justificamos en trabajos anteriores (OLIVA, ARAGÓN, 2009) (tabla 2). Como puede verse, para todas las dimensiones contempladas se formuló paralelismo entre la actividad de modelizar y de pensamiento analógico, excepto en dos ocasiones. Así, para la modelización no se ha considerado el nivel relacionado con “Aprender a crear modelos nuevos”, dado que no es esperable que alumnos de esta edad fueran capaces de crear modelos autónomamente en las fronteras del conocimiento. En cambio, si estimamos que al menos algunos alumnos podrían generar sus propias analogías (capacidad A13). Además, para una de las capacidades definidas respecto al proceso de modelización, admitir el carácter provisional de los

modelos científicos (capacidad M9), no encontramos una homóloga en el pensamiento analógico.

El procesamiento de la información se llevó a cabo a lo largo de distintas fases:

- a. Recopilación de la información y su segmentación en unidades de análisis: estos segmentos consistían, en unos casos, en fragmentos de texto verbal registrado a través de alguno de los instrumentos de recolección de datos; otros, en dibujos o esquemas gráficos, y los restantes se correspondían con combinaciones de ambas modalidades de representación.
- b. Categorización de las unidades de análisis delimitadas, para lo que se empleó una rúbrica de tres niveles de desempeño (tabla 3a). Lo habitual fue que cada segmento de información quedara categorizado según una o dos dimensiones, como mucho, pudiendo encuadrarse en categorías de análisis distintas en dimensiones diferentes.
- c. Asignación de niveles globales de desempeño por alumno y dimensión, para lo que se recurrió a una rúbrica sintética de cuatro niveles (tabla 3b).

El proceso cualitativo de categorización a través de rúbricas permitió identificar situaciones ante las que el alumnado parecía movilizar con éxito capacidades relacionadas con el pensamiento analógico y con la competencia de modelización. En este sentido, las rúbricas construidas no solo permitieron determinar qué capacidades o conocimientos epistémicos movilizaron los estudiantes a lo largo de la secuencia didáctica, sino también su desempeño. A lo largo de este proceso de análisis, al menos dos investigadores intervinieron continuamente para llegar a un consenso, mediante la negociación de sus posiciones si es necesario, sobre los criterios de análisis de aplicar. Para más detalle, pueden consultarse las descripciones realizadas en estudios anteriores (OLIVA, ARAGÓN, CUESTA, 2015; OLIVA, ARAGÓN, 2017).

Tabla 2. Dimensiones consideradas en el análisis de la tarea de modelización y en el razonamiento analógico.

Ámbitos	Dimensiones consideradas propias de la modelización	Dimensiones consideradas propias del razonamiento analógico
Aprender analogías o modelos propuestos	M1. Formular y expresar los modelos aprendidos, utilizando el lenguaje científico con propiedad al manejar los conceptos y las relaciones entre ellos.	A1. Formular y expresar las analogías aprendidas, explicitando las relaciones entre ideas o conceptos que sustentan las analogías.
	M2. Conocer diversos modelos, macroscópico, submicroscópico y simbólico, diferenciándolos y aplicando varios para representar una misma situación.	A2. Conocer distintas analogías para representar un mismo sistema, diferenciando unas de otras.
Aprender a aplicar	M3. Estimar la utilidad de los modelos. Conocer qué son y para qué los elaboran los científicos, reconociéndolos como instrumentos racionales e imaginativos para comprender el mundo.	A3. Estimar la utilidad de las analogías como instrumento de comprensión.
	M4. Representar mediante diagramas de partículas sistemas y sus cambios (fórmulas, sustancias y cambios químicos).	A4. Representar sistemas y procesos analógicos.
	M5. Interpretar la realidad formulando explicaciones sobre la materia y sus cambios, aplicando los modelos macroscópicos y submicroscópicos.	A5. Interpretar la realidad de forma verbal, usando analogías.
	M6. Aplicar los modelos a situaciones novedosas de incertidumbre. Implica realizar inferencias que permitan formular problemas, diseñar experimentos mentales o reales, y predecir fenómenos.	A6. Realizar predicciones o experimentos mentales, usando analogías.
Aprender a revisar	M7. Reconocer el carácter aproximado y limitado de los modelos, y la existencia de límites de validez.	A7. Reconocer el carácter figurado de la analogía y la existencia de límites de validez.
	M8. Establecer límites de validez de los modelos proporcionando datos a favor y en contra de estos.	A8. Asumir y establecer los límites de validez de la analogía, evaluando datos a favor y en contra.
	M9. Admitir el carácter provisional y evolutivo de los modelos, en lugar de considerarlos conocimientos absolutos, definitivos e inmutables.	
	M10. Gestionar el uso de los diferentes modelos, reconociendo la posibilidad de explicar una misma cosa, acudiendo a diferentes modelos, y tomando decisiones según las aportaciones que cada uno puede ofrecer.	A10. Dentro de las analogías de que se dispone, gestionar el uso de unos u otros en función de las circunstancias.
Aprender a participar en la (re)construcción de analogías/modelos nuevos	M11. Aportar ideas útiles para generar nuevos modelos en un contexto participativo y de forma guiada.	A11. Aportar ideas, ante analogías incompletas sugeridas por el profesor
	M12. Idear formas de representación para representar los sistemas materiales y los cambios químicos.	A12. Delimitar formas de representación dentro del análogo para los sistemas con los que se trabaja.
Aprender a crear		A.13 Proponer análogos y desarrollar analogías con autonomía.

Fuente: los autores.

Sin embargo, la asignación de niveles de desempeño por alumno y dimensión permitió además llevar a cabo estudios cuantitativos del desempeño de la muestra en su conjunto en las diferentes dimensiones contempladas para el pensamiento analógico y para la competencia de modelización, para lo cual se recurrió a un análisis descriptivo de

frecuencias de los niveles de las rúbricas. Así mismo, fue posible realizar un estudio comparativo de dichos resultados para cada par de dimensiones homólogas correspondientes a la competencia de modelización y al pensamiento analógico (prueba de Wilcoxon), y determinar el grado de correlación entre ambas (tau-b de Kendall).

Tabla 3. Criterios de categorización a través de rúbricas de la información recopilada.

(a) Niveles de desempeño para cada unidad de análisis y dimensión	(b) Niveles globales de desempeño por alumno y dimensión
<p>Adecuado (A): alude a ocasiones en las que el estudiante maneja adecuadamente, y de forma coherente con la práctica de modelización implicada, ideas, razonamientos, valoraciones o conclusiones.</p> <p>No adecuado (NA): en donde el estudiante, por el contrario, muestra un desempeño deficiente e inadecuado, ya sea por implicar ideas, razonamientos o valoraciones alejadas de aquellas que serían deseables, o por responder a planteamientos sumamente incompletos o difusos.</p> <p>Intermedio (I): se corresponde con segmentos que evidencian un desempeño intermedio entre ambos</p>	<p>Nivel I: no se evidencia la capacidad a lo largo de la secuencia didáctica; ello se manifiesta en desempeños generalizados tipo NA o, simplemente, la ausencia de evidencia alguna.</p> <p>Nivel II: aparecen indicios mínimos de desempeño, pero con notables carencias e insuficiencias. Pueden alternarse desempeños tipo NA y tipo I.</p> <p>Nivel III: aparecen sistemáticamente desempeños tipo A, aunque puntualmente pueda aparecer algún episodio de desempeño tipo I.</p> <p>Nivel IV: la capacidad analizada se manifiesta siempre o casi siempre conforme a desempeños tipo A.</p>

Fuente: los autores.

4. Resultados

La frecuencia en los niveles ordinales asignados al desempeño de cada capacidad asociada a la modelización y al pensamiento analógico, se muestra en la tabla 4. Aunque los resultados varían de una dimensión a otra, y en función de si se refieren al pensamiento analógico o de modelización, el desempeño mostrado parece por lo general bastante satisfactorio. Así, en todas las dimensiones de modelización y de pensamiento analógico, excepto en dos, al menos dos tercios del alumnado alcanzaba o superaba el nivel III de la rúbrica sintética. La excepción se encuentra en las dimensiones de pensamiento analógico 10 y 12, en las que dicha proporción no supera el 45 %, en el primer caso, ni el 14 % en el segundo. Estos resultados indican que en las actividades planteadas se consiguieron en gran parte los propósitos que se proponían, y se propiciaron en los estudiantes niveles de desempeño bastante apropiados en las tareas formuladas. Pero, al mismo tiempo, sugieren que son las tareas de gestión de distintas analogías y de producción de analogías propias, las más complicadas para los estudiantes.

Por otro lado, la tabla 5 permite comparar los resultados alcanzados en la muestra en su conjunto

para el pensamiento analógico y la actividad de modelización en las diferentes dimensiones. El test de Wilcoxon permitió realizar la comparación apreciando la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas.

A continuación, se presentan una serie de semejanzas y diferencias encontradas:

- Las primeras dimensiones (1 y 2), que intentaban evaluar el nivel de comprensión en torno a los sistemas de representación empleados (analogías o modelos), mostraban resultados bastante adecuados, si bien no fueron los mejores en comparación con el resto de dimensiones, como así esperábamos en principio. En el caso del conocimiento de diversidad de sistemas de representación, los resultados fueron muy semejantes en analogías y modelos; sin embargo, parece que los alumnos mostraban más facilidad para expresar las analogías aprendidas que los modelos estudiados.
- El desempeño en las dimensiones relacionadas con el metaconocimiento acerca de los modelos y de las analogías (3 y 7) evidencian niveles de desempeños muy similares entre sí. De este modo, los alumnos parecían asumir y demarcar

la utilidad los modelos y de las analogías, y también parecían establecer la naturaleza aproximativa de los modelos y el carácter figurado y restringido de las analogías.

- Las dimensiones que corresponden a la aplicación de analogías y modelos, con un eminente carácter procedimental (4, 5 y 6), alcanzan niveles de progresión parecidos en ambas vertientes. Da la sensación, en ambos casos (pensamiento analógico y de modelización), que son las tareas de representación las más asequibles para el alumnado, mientras que son las de interpretación e inferencia en situaciones de incertidumbre las que parecen más complejas.

- Las dimensiones restantes (de la 8 en adelante) fueron las que, por término medio, parecieron más complicadas, siendo asimismo aquellas que mostraron mayores diferencias entre las dimensiones analógicas y de modelización. Así, las destrezas para establecer los límites de validez de las representaciones usadas (dimensión 8) y para elección del sistema de representación más apropiado (dimensión 10), mostraron mayor desempeño para las analogías que para los modelos. Mientras tanto, las destrezas para aportar ideas y contribuir a la formulación de representaciones novedosas (dimensiones 11 y 12) fueron más altas en el trabajo con analogías que con modelos.

Tabla 4. Niveles de desempeño de los alumnos en las diferentes dimensiones.

Dimensiones para el pensamiento analógico	I	II	III	IV	Dimensiones para la modelización	I	II	III	IV
	%	%	%	%		%	%	%	%
A1. Expresar analogías	5,7	14,3	25,7	54,3	M1. Expresar modelos	5,7	28,6	34,3	31,4
A2. Conocer diversas analogías	5,7	20,0	25,7	48,6	M2. Conocer diversos modelos	8,6	14,3	34,3	42,9
A3. Estimar la utilidad	17,1	0	20,0	62,9	M3. Estimar la utilidad	8,6	14,3	11,4	65,7
A4. Representar sistemas análogos	11,4	8,6	14,3	65,7	M4. Representar simbólicamente	5,7	14,3	20,0	60,0
A5. Interpretar usando analogías	8,6	22,9	28,6	40,0	M5. Interpretar de forma verbal	5,7	17,1	42,9	34,3
A6. Usar analogías en situaciones novedosas	28,6	5,7	40,0	25,7	M6. Usar modelos en situaciones de incertidumbre	14,3	17,1	28,6	40,0
A7. Reconocer el carácter figurado	8,6	2,9	22,9	65,7	M7. Reconocer el carácter limitado	14,3	-	28,6	57,1
A8. Establecer límites de validez	5,7	17,1	37,1	40,0	M8. Establecer límites de validez	14,3	11,4	57,1	17,1
-	-	-	-	-	M9. Admitir la provisionalidad	8,6	11,4	22,9	57,1
A10. Gestionar el uso de analogías	20,0	34,3	37,1	8,6	M10. Gestionar el uso de modelos	5,7	8,6	31,4	54,3
A11. Completar analogías	8,6	28,6	25,7	37,1	M11. Participar generando modelos	25,7	2,9	60,0	11,4
A12. Delimitar representaciones	14,3	8,6	42,9	34,3	M12. Proponer representaciones	11,4	17,1	57,1	14,3
A13. Desarrollar análogos propios	73,5	11,8	5,9	8,8	-	-	-	-	-

Fuente: los autores.

Tabla 5. Comparación y vinculación entre capacidades analógicas y de modelización.

Dimensiones para el pensamiento analógico	Dimensiones consideradas para la modelización	Mayor nivel competencial (test Wilcoxon)	Correlación (tau-b de Kendall)
A1. Expresar analogías	M1. Expresar modelos	Pensamiento analógico ***	0,677 ***
A2. Conocer diversas analogías	M2. Conocer diversos modelos	Similares NS	0,700 ***
A.3 Estimar la utilidad	M3. Estimar la utilidad	Similares NS	0,104 NS
A4. Representar sistemas análogos	M4. Representar simbólicamente	Similares NS	0,646 ***
A5. Interpretar usando analogías	M5. Interpretar de forma verbal	Similares NS	0,676 ***
A6. Usar analogías novedosas analogías	M6. Usar modelos en situaciones de incertidumbre	Similares NS	0,430 **
A7. Reconocer el carácter figurado	M7. Reconocer el carácter limitado	Similares NS	0,270 NS
A8. Establecer límites de validez	M8. Establecer límites de validez	Modelización *	0,521 ***
-	M9. Admitir la provisionalidad	No comparables	No comparables
A10. Gestionar el uso de analogías	M10. Gestionar el uso de modelos	Modelización ***	0,466 **
A11. Completar analogías	M11. Participar generando modelos	Pensamiento analógico *	0,566 ***
A12. Delimitar representaciones	M12. Proponer representaciones	Pensamiento analógico*	0,680 ***
A13. Desarrollar análogos propios	-	No comparables	No comparables
*** p<0,001 ** p<0,01 * p<0,05 NS No significativo			

Fuente: los autores.

Otra forma de comparar el desempeño en distintas dimensiones de pensamiento analógico y de la competencia de modelización, es a través del estudio de asociación estadística entre los niveles alcanzados en las rúbricas en uno y otro caso. Para ello, recurrimos al coeficiente de correlación tau-b de Kendall, indicado en casos en los que, como este, las variables que se correlacionan son discontinuas y de carácter ordinal. Los resultados se resumen en la tabla 5. Como puede comprobarse, los coeficientes de correlación oscilan desde valores bajos a moderadamente altos, alcanzando las cifras más altas en las dimensiones 1, 2, 4, 5 y 11, y los más bajos, en la dimensión 3.

Desde el punto de vista estadístico, las correlaciones calculadas alcanzan los límites de significación estadística en la mayoría de las comparaciones, concretamente en todas excepto en dos. La excepción la encontramos en las dimensiones 3 y 7, que son las que hacen referencia a metaconocimientos; esto es, al papel y naturaleza de las analogías y modelos como formas de representación.

5. Discusión y conclusiones

La participación de los alumnos a través de la propuesta descrita parece haber propiciado ocasiones para que ellos verbalizaran modelos, los usaran, reflexionaran sobre su utilidad y limitaciones, revisaran su alcance, gestionaran el uso de distintos modelos manejados y aportaran ideas durante su proceso de construcción. Según esto, desarrollaron procesos que se relacionan con la competencia de modelización en ciencias (NICOLAOU, CONSTANTINO, 2014), en el sentido de que tuvieron oportunidad de movilizar destrezas y conocimientos epistémicos asociados al aprendizaje, uso y revisión de modelos en los términos formulados en el marco teórico (JUSTI, GILBERT, 2002; SCHWARZ, 2002; KOZMA, RUSSELL, 2005; DISESSA, 2004). Además, los niveles competenciales alcanzados fueron bastante aceptables por término medio, aunque es verdad que hubo cierta variabilidad en función de la dimensión concreta analizada. Todo ello es

coherente con el marco teórico expresado, en el que se fundamentó el papel de las analogías en el desarrollo de destrezas y valores epistémicos propios de la competencia de modelización en ciencias (OLIVA, ARAGÓN, 2009).

Así mismo, y en paralelo, los estudiantes expresaron las analogías puestas en juego, las emplearon con distintos fines, recapacitaron sobre su uso y restricciones, seleccionaron analogías en función del contexto y participaron activamente en la elaboración e interiorización de las analogías desarrolladas. Ello sugiere que el entorno didáctico propiciado ha constituido un valioso escenario para un uso de las analogías de acuerdo con las premisas que se postulan desde la bibliografía (DUI, 1991; DAGHER, 1995). En suma, las analogías constituyeron instrumentos útiles en los procesos de representación de la materia a nivel submicroscópico, y como recurso de ayuda para transitar entre dicho nivel y los niveles macroscópicos y simbólicos de la materia (JOHNSTONE, 1982).

Alguien podría argumentar que no se ha controlado en el estudio el nivel competencial inicial del alumnado en torno a las dimensiones analizadas. Si bien ello es verdad, hemos de insistir en que esta era la primera ocasión en la que los estudiantes estudiaban el cambio químico, por lo que necesariamente los desempeños alcanzados han de ser atribuidos esencialmente a la influencia de la propuesta didáctica en la que participaron. Tal influencia podría explicarse teniendo en cuenta que, tal vez, la secuencia didáctica desarrollada contribuyó a que los alumnos trabajasen, como diría VYGOTSKY (1978), en la zona de desarrollo próximo. En este sentido, el uso de analogías por parte de los alumnos, en un marco de aprendizaje participativo y colaborativo, junto a la función mediadora de la profesora, probablemente hayan constituido juntos una combinación excelente para fomentar en el alumnado buenas prácticas de modelización.

Además, los datos obtenidos han mostrado grados de asociación razonablemente altos entre las dimensiones evaluadas para uno y otro caso, al menos en aquellas referidas a prácticas de modelización:

construir modelos, usarlos, revisarlos, compararlos, etc. Estas asociaciones podrían explicarse en términos de mecanismos comunes y destrezas compartidas entre las tareas de modelización y de pensamiento analógico, de modo que el aprendizaje en uno de esos ámbitos produzca mejoras también en el otro. En consecuencia, el empleo de actividades analógicas como herramientas en el aula puede permitir no solo el aprendizaje de modelos ya hechos y acabados, sino también de las destrezas que se requieren para la actividad de modelizar en ciencias. De hecho, en el estudio antes citado de RUBIO, SÁNCHEZ, VALCÁRCEL (2018), las analogías parece que sirvieron no solo para la comprensión de un modelo submicroscópico de la materia, sino también para usarlo y aplicarlo en la interpretación de fenómenos concretos.

Ello no excluye que pueda darse, asimismo, una relación recíproca, de modo que un mejor conocimiento de los modelos de cambio químico, y unas mejores destrezas en las prácticas de modelización correspondientes faciliten también la construcción de analogías y el uso que se hace de estas. De cualquier forma, lo que el estudio parece indicarnos es que los mecanismos implicados en las prácticas de pensamiento analógico y de modelización son muy similares. O sea, mucho de aquello que hace avanzar a los estudiantes en una de esas vertientes, podría hacerlo avanzar también en la otra, como ya se sugirió en el marco teórico del estudio (OLIVA, ARAGÓN, 2009).

En cambio, no parece existir ese mismo grado de conexión cuando se habla de aspectos relacionados con la componente metarrepresentacional (DISESSA, 2004; SCHWARZ, WHITE, 2005). En este caso, el trabajo mediante analogías no parece haber propiciado especialmente que los alumnos las consideren como herramientas con un estatus semejante al de los modelos. Según esto, podría ser que los alumnos consideraran analogías y modelos como construcciones de diferente naturaleza, entendiendo las primeras como artefactos didácticos destinados únicamente a favorecer su aprendizaje en el aula en un momento determinado, mientras

que los modelos se asociarían con representaciones formales y aceptadas por la comunidad científica con un valor propio y un alcance diferente. Pero también podría ocurrir que, simplemente, el diseño didáctico planteado no haya sido capaz de evidenciar suficientemente, de forma explícita, la existencia de conexiones entre una y otra actividad. Esta apreciación concordaría bien con las conclusiones de algunos de los estudios de ACEVEDO (2008), en los que se pone de manifiesto que el aprendizaje de aspectos relacionados sobre la naturaleza de la ciencia exige no solo un tratamiento implícito de estas cuestiones a través de la inmersión de los alumnos en la cultura y actividad científica, sino que, además, se requiere una reflexión explícita de los alumnos sobre aquellas.

A pesar de la falta de sintonía encontrada entre valores epistémicos de analogías y modelos, consideramos en conjunto que el trabajo presentado aporta suficientes evidencias para soportar la hipótesis de que las analogías son un interesante recurso de mediación potencial en el desarrollo de la competencia de modelización de los alumnos, al menos si se presentan en un entorno de aprendizaje en el que estos tomen parte activa en el uso, revisión y construcción de analogías. En este sentido, el aprendizaje a través de analogías coloca al alumno en la interfaz entre el conocimiento cotidiano y la capacidad de comenzar a entender y usar algunos de los signos y códigos de la ciencia en el currículo escolar, algo esencial desde el punto de vista de la naturaleza de un ciclo de modelización (JUSTI, GILBERT, 2002).

Y ya para finalizar, conviene mencionar algunas de las limitaciones del estudio realizado. Así, al tratarse de una muestra reducida e intencional, sus conclusiones no pueden generalizarse a otras muestras de participantes. Por otro lado, además, el dominio de conocimientos implicados ha sido muy estrecho, vinculado solamente a nociones básicas de química. Por ello, no podemos asegurar que algo similar ocurra en otros ámbitos de las ciencias.

En suma, se abre todo un campo interesante de investigación, dirigido a valorar la influencia y

los mecanismos, a través de los cuales el uso de analogías en el aula puede contribuir también al desarrollo de la competencia de modelización de los estudiantes en ciencias.

6. Reconocimientos

Financiado por: FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades–Agencia Estatal de Investigación/_Proyecto EDU2017-82518-P.

7. Referencias bibliográficas

- ACEVEDO, J.A. El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 5, n. 2, pp. 134-169. 2008. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i2.
- ARAGÓN, M.M.; OLIVA, J.M.; NAVARRETE, A. Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 31, n. 2, pp. 9-30. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.832>
- BAMBERGER, Y.M.; DAVIS, E. A. Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. **International Journal of Science Education**, Londres, n. 35, pp. 213-238. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.624133>
- CAMACHO GONZÁLEZ, J.P. et al. Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 9, n. 2, pp. 196-212, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i2.03
- CARDOSO MENDONÇA, P.C.; JUSTI, R. Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of A Case Study. **Research in Science Education**,

- Netherlands. n. 61, pp. 479-503. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.811615>
- CHAMIZO, J.A. Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 7, n. 1, pp. 26-41. 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1
- DAGHER, Z.R. Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. **Science Education**, Nueva York, v. 79, n. 3, pp. 295-312. 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730790305>
- DISESSA, A.A. Metarepresentation: native competence and targets for instruction. **Cognition and Instruction**, Philadelphia, 22, pp. 293-331. 2004. DOI: https://doi.org/10.1207/s1532690xc2203_2
- DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, Nueva York, v. 75, n. 6, pp. 649-672, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.3730750606>
- GALAGOVSKY, L.; ARDÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales, el concepto de modelo didáctico analógico. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, n. 19, pp. 231-242. 2001.
- GILBERT, J.K. **Models and modelling in science education**. Association for Science Education. Hatfield: Reino Unido. 1993.
- GILBERT, J.K.; BOULTER, C.; RUTHERFORD, M. Models in explanations, Part 1: Horses for courses? **International Journal of Science Education**, Londres, v. 20, n. 1, pp. 83-97. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1080/0950069980200106>
- HALLOUN, I. Schematic modelling for meaningful learning of physics. **Journal of Research in Science Teaching**, Champaign, v. 33, n. 9, pp. 1019-1041. 1996. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199611\)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I)
- HALLOUN, I. Mediated modeling in science education. **Science & Education**, Berlin, n. 16, pp. 653-697. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-006-9004-3>
- HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Learning about atoms. Molecules and chemical bonds: a case study of multiple model use in grade 11 chemistry. **Science Education**, Nueva York, n. 84, pp. 352-381. 2000a. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<352::AID-SCE3>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<352::AID-SCE3>3.0.CO;2-J)
- HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. A typology of school science models. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 22, n. 9, pp. 1011-1026. 2000b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/095006900416884>
- IZQUIERDO, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. Actas del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, n. extra, pp. 1-4. 2005.
- JENSEN, W.B. Logic, history and the chemistry textbook. **Journal of Chemical Education**, Athens, EE. UU., 75, pp. 817-828. 1998.
- JOHNSTONE, A.H. Macro and micro chemistry. **School Science Review**, Hatfield, n. 64, pp. 295-305. 1982.
- JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 24, n. 2, pp. 173-184. 2006.
- JUSTI, R.; GILBERT, J.K. Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 24, n. 4, pp. 369-387. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- JUSTI, R.; GILBERT, J.K. The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. En: AUBUSSON, P.J.; HARRISON, A.G.; RITCHIE, S.M. (eds.), **Metaphor and analogy in science education**. Springer. Dordrecht: Países Bajos. 2006. pp. 119-130.
- KOZMA, R.B.; RUSELL, J. Multimedia and understanding: expert and novices responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, Champaign, v. 20, pp. 117-129. 1997. DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199711\)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U)

- KOZMA, R.B.; RUSELL, J. Students becoming chemists: developing representational competence. En: GILBERT, J. (ed.), **Visualization in Science Education**. Springer. Dordrecht: Netherlands. 2005. pp. 121-146.
- LOPES, J.B.; COSTA, N. The evaluation of modelling Competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 29, n. 7, pp. 811-851. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09500690600855385>
- LÓPEZ SIMÓ, V.; GRIMALT-ÁLVARO, C.; COUSO LAGARÓN, D. ¿Cómo ayuda la pizarra digital interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias? **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 15, n. 3, 3302-3302-15. 2018. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3302
- MADDEN, S.P.; JONES, L.L.; RAHM, J. The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. **Chemistry Education Research and Practice**, Cambridge, n. 12, pp. 283-293. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/C1RP90035H>
- MERINO, C.; IZQUIERDO, M. Aportes a la modelización según el cambio químico. **Educación Química**, México D.F., v. 22, n. 3, 212-223. 2011.
- NERSESSIAN, N.J. How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. En: GIERE, R.N. (ed.). **Cognitive Models of Science**. University of Minnesota Press. Mineápolis: EE. UU. 1992. pp. 3-45.
- NERSESSIAN, N.J. Model-based reasoning in conceptual change. En MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N.J.; THAGARD, P. **Model-based reasoning in scientific discovery**. Kluwer Academic/Plenum Publishers. Nueva York: EE. UU. 1999. pp. 5-22.
- NICOLAOU, C.T.; CONSTANTINOU, C.P. Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. **Educational Research Review**, Amsterdam, n. 13, pp. 52-73. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- OLIVA, J.M. El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 3, n. 3. 2004.
- OLIVA, J.M.; ARAGÓN, M.M. Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 27, n. 2, pp. 195-208. 2009.
- OLIVA, J.M.; ARAGÓN, M.M. Modelización y pensamiento analógico en el aprendizaje del cambio químico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, pp. 903-929. 2017. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017173903>
- OLIVA, J.M.; ARAGÓN, M.M.; CUESTA, J. The competence of modelling in learning chemical change: a study with secondary school students. **International Journal of Science and Mathematics Education**, Londres, n. 13, 751-791. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9583-4>
- PAPAEVRIPIDOU, M.; NICOLAOU, C.T.; CONSTANTINOU, C.P. On Defining and Assessing Learners' Modeling Competence in Science Teaching and Learning. En: ANNUAL MEETING OF AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION (AERA), Philadelphia, Pennsylvania: EE. UU. 2014.
- PEREIRA GANDRA, L.; RODRIGUES DA SILVA, G. Modelagem e história da ciência: uma abordagem pedagógica para a estrutura atômica no 9º ano do ensino fundamental. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, Bogotá, Colombia, v. 13, n. 19, pp. 14-32. 2017. DOI: <http://doi.org/10.14483/23464712.11585>
- PÉREZ, G.; GÓMEZ GALINDO, A.A.; GONZÁLEZ GALLI, L. Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las**

- Ciencias**, Cádiz, v. 15, n. 2, 2102. 2018. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102
- PRINS, G.T. *et al.* Students' involvement in authentic modelling practices as contexts in chemistry education. **Research in Science Education**, Netherlands, v. 39, n. 5, pp. 681-700. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-008-9099-4>
- RAVIOLO, A.; GARRITZ, A.; SOSA, P. Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 8, n. 3, 240-254. 2011 Disponible en: <<http://hdl.handle.net/10498/14388>>
- RUBIO, J.; SÁNCHEZ, G.; VALCÁRCEL, M.V. Percepción de profesores y estudiantes de 3º ESO sobre el uso de analogías en el estudio de los estados de agregación de la materia. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Cádiz, v. 15, n. 2. 2104-2104-15. 2018. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2104
- SCHWARZ, C. Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. In: the Proceedings of INTERNATIONAL CONFERENCE OF LEARNING SCIENCES. Seattle: WA. 2002.
- SCHWARZ, C.; WHITE. Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modelling. **Cognition and Instruction**, Philadelphia, v. 23, n. 2, pp. 165-205. 2005. DOI: https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- SCHWARZ, C.V. *et al.* Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. **Journal of Research in Science Teaching**, Champaign, v. 46, n. 6, pp. 632-654. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20311>
- VAN DRIEL, J.H.; VERLOOP, N. Teachers' knowledge and modelling in science. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 21, n. 11, pp. 1141-1153. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/095006999290110>
- VYGOTSKY, L. **Mind and Society**. Harvard University Press. Cambridge, MA. 1978.

